

活性汚泥法における脱窒、硫酸塩還元およびバルキングの関係
(その2) - 硫酸塩還元菌数、硫酸塩還元活性の比較 -

金沢大学工学部土木建設工学科 ○池本良子・小森友明
京都大学環境微量汚染制御実験施設 松井三郎

1. はじめに

筆者らは、回分式活性汚泥装置を用いて嫌気好気法の室内実験を行なった結果、嫌気時間に硫酸塩還元が起こると糸状性バルキングが発生するが、人工廃水中に硝酸を添加して脱窒を積極的に行なわせた場合には硫酸塩還元もバルキングも抑制されることを報告し、硫酸塩還元菌と糸状性硫黄細菌の共生関係を指摘した。本研究では、装置の運転方法に若干の改良を加えるとともに、硝酸を添加する系と添加しない系を並列で運転し、生成した活性汚泥の硫酸塩還元菌数と硫酸塩還元活性を比較して、硫酸塩還元菌と糸状性硫黄細菌の関係についてさらに検討を行なった。

2. 実験方法

20Lの回分式装置を2系列用い、嫌気条件下での廃水(2L)流入1.5時間、曝気3時間、沈殿1.5時間の後上澄み2Lを排出する6時間を1サイクルとして、1日4サイクルを繰り返す運転を行なった。1日1回曝気時間終了直前に混合液を1L引き抜くことにより、SRTを20日に調整した。pHコントローラーによりpHを7.2±2に制御するとともに、ORPを連続的に計測した。Table 1に示すようなグルコースとエタノールを有機炭素源とする人工廃水中に硝酸を添加しない系列(NO₃⁻)と添加した系列(NO₃⁺)を並行してRun 1からRun 3の運転を行なった。Run 1は、嫌気時間中の攪拌強度を強くして汚泥を分散状態として運転を行ない、Run 2では負荷を2倍とした。Run 3は、攪拌速度をおとしフロックを形成させたものである。

週に2回MLSS、SVIおよびSV₃₀を30%以下にして求めたSVICの測定を行なった。また、任意のサイクルについて、流入廃水、廃水流入直前、廃水流入終了時及び曝気終了直前の槽内混合液、沈殿終了直前の上澄み水を採取し、硫化物の測定と、0.45 μmのメンブレンフィルターろ液の水質分析を行なった。同時に、曝気終了直前の槽内混合液を用いて、MLSS、SVIC、糸状体長およびMPN法による硫酸塩還元菌数の計測を行なった。最後に、生成した活性汚泥を用いて以下のような回分実験を行なった。活性汚泥を遠心分離により濃縮し、最終濃度で約2000mg/Lとなるように50mLのバイアル瓶に投入し、乳酸100mg/Lと無機塩からなる基質を満たして気泡が入らないように密栓し、分散させた後、20℃の恒温室内で振倒培養する。同様に作成したバイアル瓶を複数個準備し、経時的に開栓し混合液の硫化物濃度とろ液の水質分析を行なった。

3. 実験結果と考察

3. 1 沈降性と糸状性細菌の現存量の変化

Fig. 1はMLSS、SVIC及び糸状体長の変化を示したものである。Run 1およびRun 2では、硝酸を添加した系(NO₃⁺)もしない系(NO₃⁻)も汚泥が分散状態であったため

Table 1 Experimental conditions

	Run 1 6/13~10/27		Run 2 10/28~12/1		Run 3 12/2~12/26	
	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁺
Glucose	267	267	267	267	533	533
Ethanol	167	167	167	167	333	333
NaNO ₃	0	625	0	625	0	1250
(NH ₄) ₂ CO ₃	223	223	223	223	446	446
KH ₂ PO ₄	33	33	33	33	66	66
NaHCO ₃	100	100	100	100	200	200
MgSO ₄ ·7H ₂ O	79	79	79	79	157	157

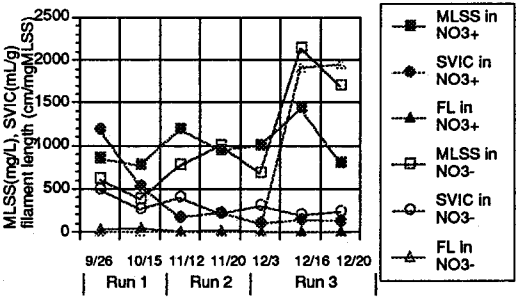


Fig. 1 Courses of MLSS, SVIC and Filament length in the activated sludge.

沈降しにくくSVICが高くなっているが、糸状性細菌はほとんど存在しなかった。Run 3に切り替えた1週間後の12/16日の実験以降は硝酸を添加しない系にのみ糸状性細菌Type 021Nが多量に増殖した。

3. 2 装置内水質の変化

Fig. 2は硝酸を添加した系の装置内の硝酸濃度の変化を示している。Run 1、Run 2およびRun 3に切り替えた直後の12/3では処理水中に硝酸が50mg/L程度残存し、脱窒が不完全であった。Run 3に切り替えてフロックを形成してからは、脱窒率は90%を越えて良好な脱窒が行なわれている。攪拌強度が強

いと脱窒菌にとってやや不利になるものと思われる。Fig. 3は、両系の槽内に検出された酢酸とプロピオン酸濃度を示している。槽内には、その他の有機酸は検出されなかった。硝酸を添加した系(b)では脱窒が不完全なRun 1、Run 2で廃水流入直前(0hr)の槽内に酢酸プロピオン酸がやや検出されているが、Run 3では全く検出されなかった。一方、硝酸を添加しない系(a)では嫌気時間終了時(1.5hr)に酢酸とプロピオン酸が検出され、Run 3でその濃度が高くなっている。

Fig. 4は、槽内混合液の硫化物濃度の変化を示している。硝酸を添加した系(b)では、硫化物濃度は非常に低濃度であるが、Run 2で嫌気時間終了時(1.5hr)に増加が認められる。このことは、Run 2において嫌気時間にわずかに硫酸塩還元が起こったことを示唆するものである。Run 3では、嫌気時間の増加はほとんど認められなかった。脱窒により硫酸塩還元が抑制されたと考えられる。硝酸を添加しない系(a)では、Run 2以降嫌気時間での硫化物の増加が認められ、Run 3でその増加が大きい。Run 3でフロックが形成され、硫酸塩還元菌が活動しやすくなったものと考えられる。Fig. 5は、硫酸塩還元菌数の変化を示している。Run 1、Run 2では硝酸を添加した系(NO_3^-)としない系(NO_3^-)でほとんど差が無いかわり添加した方が菌数が多いときがあった。しかし、Run 3でフロックを形成してからは、硝酸を添加しない系(NO_3^-)が10倍以上に増加したのに対し、添加した系(NO_3^-)では極端に菌数が減少し、設定した希釈倍率では、硫酸塩還元菌が全く検出されなかったため、菌数を求めることができなかった。

Fig. 6は、槽内のORPの変化を示している。いずれの場合も嫌気時間終了時にORPが低下するが、硫酸塩還元が顕著に起こったRun 3の硝酸を添加しない系(NO_3^-)で嫌気時間終了時(1.5hr)のORPが-100mV以下

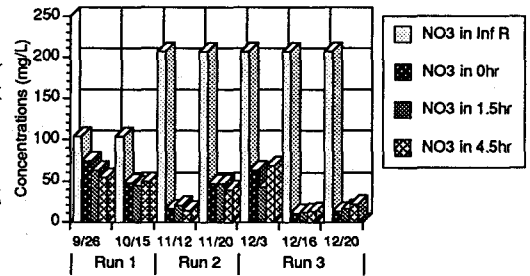
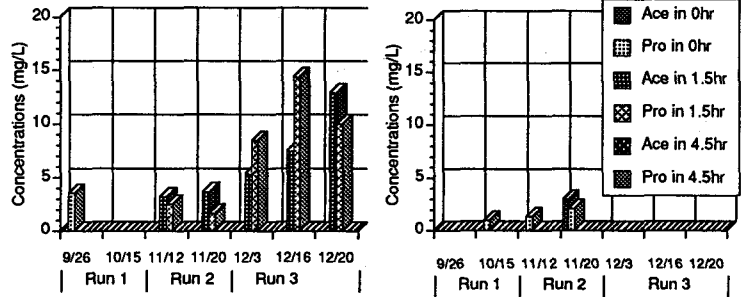


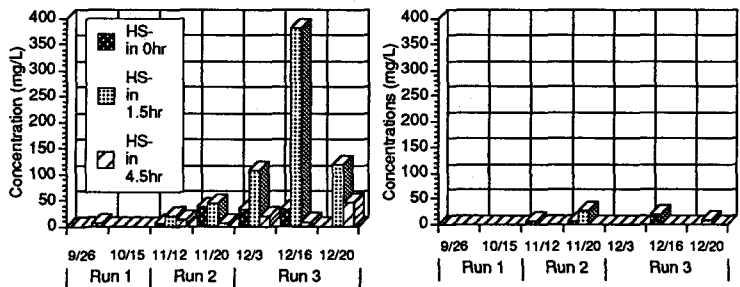
Fig. 2 Course of nitrate concentrations in the unit in which nitrate added.



(a) Nitrate did not added.

(b) Nitrate added.

Fig. 3 Courses of organic acid concentrations.



(a) Nitrate did not added.

(b) Nitrate added.

Fig. 4 Course of sulfide concentration.

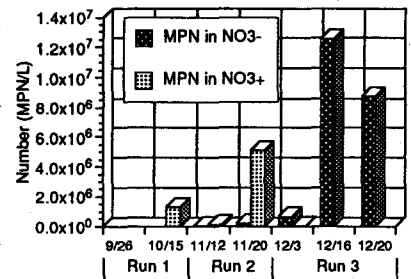


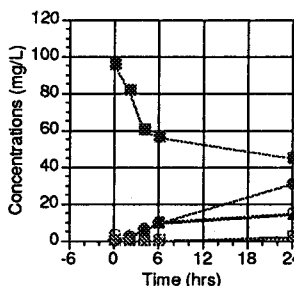
Fig. 5 Course of the number of sulfate reducing bacteria.

と低くなっている。しかし、Run 1、Run 2では、硝酸を添加した系(NO_3^-)の方がややORPが低くっており、硫酸塩還元が同程度に起こっていたことが示唆される。

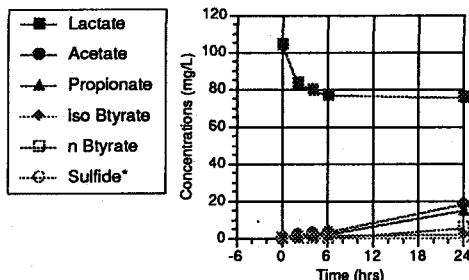
3. 3 回分実験による硫酸塩還元活性の比較

Fig. 7は、回分実験の結果を示したものである。硝酸を添加しない系で生成した活性汚泥を用いた場合には、乳酸の減少に伴い酢酸とプロピオン酸が生成し、硫化物が増加している。硝酸

を添加した系では、乳酸の分解量が少なく硫化物がほとんど増加していない。硫酸塩還元速度を硫化物生成速度と比較すると、硝酸を添加しない系が $0.0897/\text{gMLSS}\cdot\text{hr}$ 、硝酸を添加した系が $0.0232/\text{gMLSS}\cdot\text{hr}$ であり、硝酸を添加しない系で生成された活性汚泥の方が硫酸塩還元活性が高かった。



(a) Nitrate did not added.



(b) Nitrate added.

Fig. 7 The results of batch experiments.

3. 4 活性汚泥内の生態系の推定

Fig. 8は、Run 2及びRun 3の運転条件下に於ける脱窒菌、硫酸塩還元菌および糸状性硫黄細菌の生態系をモデル化したものである。Run 2では、硝酸を添加しない系では、汚泥が分散状態であるにもかかわらず硫酸塩還元菌が活動しているが、糸状性硫黄細菌は核となるフロックが存在しないために増殖できなかったものと考えられる。硝酸を添加した系でも、脱窒が不完全であったため硫酸塩還元菌が活動できたと考えられる。一方、フロックが形成されたRun 3では、硝酸を添加しない系で、硫酸塩還元菌が増加し活発に活動した結果、硫酸塩還元菌が生成する硫化物と酢酸を利用する糸状性硫黄細菌が増殖して、バルキング状態となった。硝酸を添加しない系では、脱窒が完全に起こり、その結果硫酸塩還元菌が利用する有機物が供給されず、菌数が減少した結果、糸状性細菌の増殖も起こらなかったものと考えられる。

4. まとめ

以上のことより、硫酸塩還元菌と脱窒菌は有機物をめぐる競合関係にあり、硫酸塩還元菌と糸状性硫黄細菌は硫黄の酸化還元と酢酸の供給の共生関係にあると考えられた。硫酸塩還元の抑制がバルキングの抑制に重要であると考えられる。

<参考文献> 池本・小森・松井、「活性汚泥法における脱窒、硫酸塩還元およびバルキングの関係」土木学会年講、1991

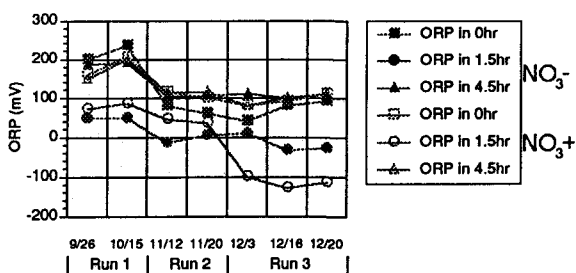
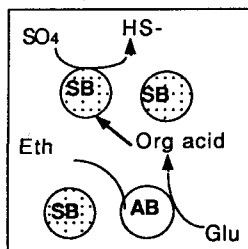
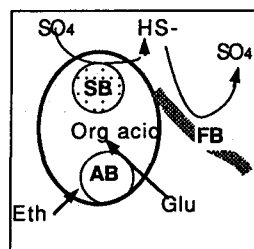


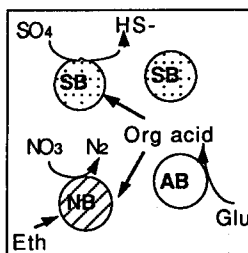
Fig. 6 Course of ORP.



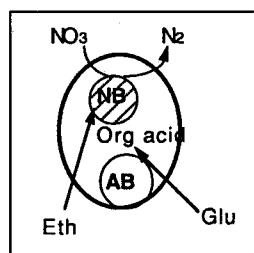
Run 2, NO_3^-



Run 3, NO_3^-



Run 2, NO_3^+



Run 3, NO_3^+

Fig. 8 Population model in activated sludge. SB: Sulfate Reducing Bacteria; NB: Denitrification Bacteria; AB: Facultative anaerobic Bacteria; FB: Filamentous Bacteria.